

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Маликова Ильи Валентиновича

«Эпитаксиальные пленки тугоплавких, ферромагнитных и половинных металлов: получение, свойства и структуры на их основе», на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 – электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

Эпитаксиальные пленки широко исследуются и применяются в различных областях электроники. Поскольку рост пленок является сложным динамическим процессом и требует учета, как термодинамики процесса, так и его кинетики, предсказать заранее свойства и структуру получаемых пленок не представляется возможным. Поэтому развитие методов получения, тщательное исследование особенностей роста и их влияние на свойства эпитаксиальных пленок является важной научной задачей. Для эпитаксиальных пленок металлов в высококачественных пленках предполагается достижение больших длин свободного пробега электронов, из которых возможно изготовление и исследование наноструктур, проявляющих баллистические свойства. Также важной задачей является получение пленок, проявляющих свойства половинных металлов.

### **В ходе работы достигнуты следующие важные результаты:**

Впервые продемонстрирована взаимная эпитаксия в двухслойных пленках Mo/Nb. Впервые в эпитаксиальных пленках Nb обнаружена зависимость с максимумом длины свободного пробега электронов от скорости роста на R-плоскости сапфира и корреляция величины RRR и наклона плоскости роста ЭП Nb. Впервые показано, что встроенный потенциал на внутренней границе раздела Mo/Nb существенно влияет на проводимость двухслойных и трехслойных гетероэпитаксиальных пленок, а также в баллистической полуэпитаксиальной структуре Mo/Nb. Впервые в сверхтонких пленках Mo на сапфире наблюдались островки, характерные для механизма Странского-Крастанова. (СК).

Впервые определены закономерности роста островковых пленок Fe, в том числе имеющих максимальные размеры островков, связь морфологии и режимов роста с температурой и частотой импульсов.

Впервые обнаружена обратная корреляция зависимостей коэрцитивной силы и длины свободного пробега от температуры роста высококачественных пленок Fe (001) на R-плоскости сапфира.

Впервые обнаружено плато устойчивого роста (ПУР) и постепенный наклон плоскости роста в многослойных пленках типа MgO/Fe/MgO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> при реактивном синтезе пленок Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Впервые созданы баллистические крестообразные структуры на основе тугоплавких (Nb, Mo) и ферромагнитных (Ni) металлов, в том числе гетероэпитаксиальные. В баллистических крестообразных структурах из Ni впервые наблюдался гигантский изгибный магниторезистивный эффект. Впервые изготовлены баллистические структуры на подложках GaAs. Моделирование показало, что баллистические эффекты для структур такого типа могут быть значительными даже при комнатной температуре.

Впервые определены размеры и ориентация прямоугольных Fe (001) и Fe (011) структур, находящихся в однодоменном состоянии. Обнаружено переключение направленности круговой намагниченности в квадратных эпитаксиальных микроструктурах Fe (001) спин-поляризованным током.

Впервые для крестообразных структур Ni/NiO/Fe получена зависимость дифференциального сопротивления от тока, меняющая знак.

Впервые для пленок сплавов Гейслера найдены закономерности получения инверсии анизотропного магнитосопротивления. Впервые для пленок сплава Гейслера  $\text{Co}_2\text{FeSi}$ ,  $\text{Co}_2\text{FeAl}$  на А-плоскости сапфира достигнута одноосная магнитная анизотропия.

Впервые для АСМ литографии показана возможность создания структур на относительно толстых пленках с использованием сформированных оксидных масок и электрохимического травления.

**В качестве замечаний считаю необходимым отметить следующее:**

Некоторые моменты в тексте Автореферата сложны для восприятия без иллюстративного материала, например, описание установки и результаты переманичивания спин-поляризованным током.

Вместе с тем, представленные замечания не снижают общей положительной оценки представленной работы. Полученные в работе результаты вносят существенный вклад в фундаментальную область знания и демонстрируют эффективные подходы для использования академических исследований в значимых практических приложениях.

Считаю, что представленная работа соответствует требованиям, перечисленным в пп. 9–14 Положения о присуждении учёных степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. N 842), а ее автор Маликов Илья Валентинович заслуживает присуждения ему искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 – электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Отзыв составил:

Вилков Евгений Александрович доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории № 250 «Сегнетоэлектрические материалы и устройства» Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)

Я, Вилков Евгений Александрович, даю согласие на обработку моих персональных данных в аттестационном деле, их размещении на сайте организации и в федеральной информационной системе государственной научной аттестации.



Вилков Е.А.

Подпись Вилкова Е.А. заверяю:

Заведующая отделом кадров ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Сизова Ольга Юрьевна,  
подпись

печать



01.07.2024

141190, г. Фрязино, Московская область, пл. Введенского 1  
Тел.: +7(496)565-24-00, E-mail: [otkad2@ms.ire.rssi.ru](mailto:otkad2@ms.ire.rssi.ru)